

文章编号: 1001-3571 (2025) 02-0028-10

基于煤质特性的炼焦煤配洗研究

闫永兴¹, 赵建军¹, 刘磊¹, 吴志强¹, 何宏伟¹, 赵鑫^{2,3}, 周瑞^{2,3}, 申岩峰^{2,3}, 王美君^{2,3}

(1. 山西铺龙湾煤业有限公司, 山西 大同 037104; 2. 太原理工大学 省部共建煤基能源清洁高效利用国家重点实验室, 山西 太原 030024; 3. 太原理工大学 煤科学与技术教育部重点实验室, 山西 太原 030024)

摘要: 基于不同煤炭资源煤质特点进行精细化配煤洗选, 是煤炭企业实现资源整合、降本增效的有效手段。为了探究不同配比对精煤主要指标的影响, 对大同市左云地区铺龙湾原煤试样 (PLW) 和其周边3个矿井的原煤试样 (BJZ、HJW、KQ) 进行全级浮沉, 分析4种原煤的可选性; 通过工业分析以及可选性解析单种煤及精煤基本煤质特性, 根据煤质特性及其分选特性设计 PLW 配洗 BJZ, HJW, KQ 的二元及三元配洗方案, 对不同配比的原煤进行三级浮沉, 对比 $<1.4\text{ g/cm}^3$ 密度级精煤产率、灰分、硫分、黏结指数等主要指标, 优选出 PLW 原煤配洗的最佳比例。结果表明: PLW 原煤和 BJZ 原煤中含有较高的矿物质和矸石, 精煤产率相对较低, 而 KQ 原煤和 HJW 原煤的精煤产率相对较高; 利用煤质特性, 将产率偏低的 PLW 原煤分别与其他三种原煤进行二元及三元配洗, 以达到精煤灰分 $<9\%$ 、硫分 $<0.8\%$ 及黏结指数相对较好的煤质特性。在方案制定的配比范围内, 二元配洗方案中, 以 PLW 和 KQ 原煤配煤比例为 4:6 时精煤产率最高, 为 35.12%, 精煤灰分为 6.21%、硫分为 0.75%、黏结指数为 73, 均满足预期配洗指标要求, 效果较好; 三元配洗方案中, 以 PLW, HJW, BJZ 原煤配煤比例为 4:3:3 时精煤产率最高, 为 32.00%, 精煤灰分为 8.10%、硫分为 0.73%, 也满足预期配洗指标要求。基于单种煤煤质特性, 通过配煤入洗, 可弥补铺龙湾煤的内灰偏高、精煤产率低等不足, 为后续选煤厂配洗提供有力依据和应用指导, 从而提高选煤厂经济效益并合理利用煤炭资源。

关键词: 配煤入洗; 配煤方案; 浮沉试验; 二元配洗方案; 配煤比例

中图分类号: TD942; TQ536.1

文献标志码: A

Research on Blending Washing of Coking Raw Coal Based on Coal Quality Characteristics

YAN Yongxing¹, ZHAO Jianjun¹, LIU Lei¹, WU Zhiqiang¹, HE Hongwei¹, ZHAO Xin^{2,3},
ZHOU Rui^{2,3}, SHEN Yanfeng^{2,3}, WANG Meijun^{2,3}

(1. Shanxi Pulongwan Coal Industry Co. Ltd., Datong 037104, China; 2. State Key Laboratory of Clean and Efficient Coal Utilization, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 3. Ministry of Education, Key Laboratory of Coal Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Fine-grained coal blending and washing based on the coal quality characteristics of different coal resources is an effective means for coal enterprises to achieve resource integration and cost-effective operations. In order to investigate the influence of different proportions on the main indexes of clean coal, the complete float-sink analysis is carried out on raw coal samples from Pulongwan in Zuoyun District, Datong City (PLW) and

收稿日期: 2024-10-08 责任编辑: 李梅 DOI: 10.16447/j.cnki.cpt.2025.02.004

基金项目: 山西省重点研发计划项目 (202102090301002); 山西铺龙湾煤业有限公司技术开发项目 (PLW2024JS0004)

作者简介: 闫永兴 (1970—), 男, 山西朔州人, 高级工程师, 从事采矿工程方面的工作。E-mail: 744609712@qq.com。通讯作者: 王美君 (1985—), 男, 内蒙古清水河人, 教授, 博士, 从事煤清洁转化方面的研究工作。E-mail: wangmeijun@tyut.edu.cn。

引用格式: 闫永兴, 赵建军, 刘磊, 等. 基于煤质特性的炼焦煤配洗研究[J]. 选煤技术, 2025, 53(2): 28–37.

YAN Yongxing, ZHAO Jianjun, LIU Lei, et al. Research on Blending Washing of Coking Raw Coal Based on Coal Quality Characteristics[J]. Coal Preparation Technology, 2025, 53(2): 28–37.



移动阅读

from three surrounding mines (BJZ, HJW, KQ) to analyze the washability of the four raw coals. The basic coal quality characteristics of single coal and clean coal are analyzed through proximate analysis and washability tests. Three-stage float-sink tests are conducted on raw coal with different blending ratios. Key indicators such as the yield, ash content, sulfur content, and caking index of clean coal in the density fraction $< 1.4 \text{ g/cm}^3$ are compared to determine the optimal blending ratio for PLW raw coal. The results show that PLW and BJZ raw coals contain relatively high levels of minerals and gangue, resulting in lower clean coal yields. In contrast, KQ and HJW raw coals exhibit higher clean coal yields. Leveraging the coal quality characteristics, binary and ternary blending of PLW raw coal (with relatively low yield) with the other three raw coals is carried out to achieve clean coal with an ash content $< 9\%$, sulfur content $< 0.8\%$, and relatively favorable caking index. Within the blending ratio range specified in the plan: in the binary blending scheme, the highest clean coal yield is achieved when the blending ratio of PLW and KQ raw coal is 4 : 6, reaching 35.12%. The ash content of clean coal is 6.21%, the sulfur content is 0.75%, and the caking index is 73, all meeting the expected blending washing index requirements, with a good effect. In the ternary blending scheme, the highest clean coal yield is achieved when the blending ratio of PLW, HJW, and BJZ raw coal is 4 : 3 : 3, reaching 32.00%. The ash content of clean coal is 8.10%, and the sulfur content is 0.73%, also meeting requirements. Based on the coal quality characteristics of single coals, blending and washing can compensate for the shortcomings of Pulongwan coal, such as high internal ash and low clean coal yield. This provides a strong basis and application guidance for subsequent coal blending and washing in coal preparation plants, thereby improving the economic benefits of coal preparation plants and rationalizing the utilization of coal resources.

Keywords: coal blending and washing; coal blending scheme; float-sink test; binary coal blending scheme; coal blending ratio

我国煤炭资源较为丰富, 但主焦煤、肥煤等优质煤种资源储量结构性稀缺, 必须保护性开采和利用^[1-3]。由于长时间开采利用, 焦煤、肥煤开采深度逐渐增加, 硫分和灰分呈现升高趋势, 为了平衡炼焦配煤的硫分、灰分, 低灰低硫气煤成为现实选择, 在未来具有较大市场优势^[4-5]。炼焦过程中煤种的选择和对比对最终焦炭质量起着决定作用^[6]。不同煤种在煤质特性上存在差异, 这些特性包括但不限于灰分、硫分及黏结指数等指标^[7-8]。这些煤质指标影响焦炭的强度、反应性以及最终的化学成分, 进而影响炼铁效率和成本^[9]。然而, 炼焦配煤与煤炭洗选之间存在脱节现象, 炼焦煤洗选加工厂应“按需洗选”, 与下游焦化厂配煤炼焦的功能性进行关联。结合实际炼焦过程的需求, 科学地进行原煤的选择和配比, 不仅可以提高焦炭的整体性能, 也有助于环境保护和资源的高效利用^[10-12]。郭荣^[13]通过四组原煤的配洗方案对比分析得出, 原煤基元灰分的差值直接影响配洗方案的选择, 基元灰分差值越大, 配煤洗选的优势越明显。董洁等^[14]利用进厂原煤煤质的良好互补性, 将可选性不同的煤按一定比例配合在一起入洗, 改善了煤的可选性。徐

露^[15]通过对高硫原煤进行常规重选脱硫及采取“高+低”硫原煤、精煤搭配入洗方式, 降低了精煤硫分, 提高了精煤质量。因此, 开展基于煤质特性的炼焦煤配洗研究, 利用原煤煤质特性的互补原则, 可弥补单一原煤的指标不足, 改善精煤产品质量, 进而提高选煤厂经济效益并合理利用煤炭资源。

我国晋北地区气煤资源丰富, 基于该地区气煤资源可选性及煤质特点, 通过按质分选, 分级利用, 进行精细化洗选与配煤, 是实现资源有效整合、降本增效的有效手段。研究选取大同市左云地区铺龙湾及其周边矿井的共四种煤样 (PLW, BJZ, HJW, KQ), 通过浮沉试验, 分析了原煤煤质特性, 根据煤质特性及其浮选特性设计了二元、三元配洗方案的配比, 探究了不同配比对精煤主要指标的影响, 为铺龙湾煤业有限公司合理配洗提供应用指导。

1 煤质分析方法与配洗方案设计

1.1 煤质分析方法

分别对 PLW, BJZ, HJW, KQ 四种原煤进行三级浮沉和全级浮沉试验。根据 GB/T 30732—2014

《煤的工业分析方法》和 GB/T 214—2007《煤中全硫的测定方法》等相关标准，进行灰分、硫分等指标测定。四种原煤的工业分析见表 1。四种原煤三级浮沉试验结果见表 2。根据 GB/T 5447—2014《烟煤黏结指数测定方法》测定混配煤 $< 1.4 \text{ g/cm}^3$ 的精煤黏结指数。

表 1 原煤工业分析

Table 1 Proximate analysis of raw coal %			
原煤名称	水分	灰分	硫分
PLW	0.85	48.00	0.35
BJZ	0.54	37.65	0.30
HJW	0.72	33.70	3.81
KQ	0.62	27.71	1.33

表 2 原煤各级产率及指标

Table 2 Yields and indicators of each grade of raw coal %				
原煤名称	三级浮沉密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	产率	灰分	硫分
PLW	< 1.4	15.09	9.45	0.48
	$1.4 \sim 1.8$	27.55	26.33	0.31
	> 1.8	47.03	76.41	0.32
	煤泥	10.33	34.31	0.42
BJZ	< 1.4	19.13	7.88	0.48
	$1.4 \sim 1.8$	42.53	20.19	0.35
	> 1.8	29.08	75.50	0.08
	煤泥	9.26	23.50	0.42
HJW	< 1.4	27.92	6.27	1.19
	$1.4 \sim 1.8$	22.92	23.01	0.87
	> 1.8	37.21	65.86	5.19
	煤泥	11.95	32.25	1.83
KQ	< 1.4	39.55	6.34	0.93
	$1.4 \sim 1.8$	23.30	22.40	0.85
	> 1.8	27.04	70.45	0.94
	煤泥	10.11	28.47	1.68

1.2 配洗方案设计

表 1 和表 2 中数据显示，PLW 和 BJZ 原煤回收率偏低、硫分较低，并且 PLW 精煤的灰分相对较高，为 9.45%；而 HJW 和 KQ 原煤回收率高，但硫分相对较高。根据互补原则，将回收率较高、硫分偏高的 HJW 和 KQ 原煤与回收率偏低、硫分较低的 PLW 和 BJZ 原煤进行配洗，并按照二元或三元原煤方式进行混配，以达到硫分低于 0.8%、灰分低于 9%、黏结指数相对较好的商品煤要求。因此，

30

根据上述各单种煤的煤质特点，设计了二元和三元不同配比的混洗方案，方案见表 3。

表 3 二元三元配洗方案

Table 3 Binary and ternary mixed washing scheme				
原煤	比例			
PLW : BJZ	7 : 3	5 : 5	3 : 7	—
PLW : HJW	9 : 1	8 : 2	6 : 4	—
PLW : KQ	9 : 1	7 : 3	6 : 4	4 : 6
KQ : BJZ	6 : 4	5 : 5	4 : 6	—
PLW : HJW : BJZ	5 : 1 : 4	4 : 2 : 4	4 : 3 : 3	—
PLW : HJW : KQ	7 : 2 : 1	7 : 1 : 2	6 : 1 : 3	—

1.3 浮沉试验方法

(1) 重液的配置。将氯化锌溶解在水中，若不能溶解时，可加入少量的盐酸使其溶解^[16-17]，然后用密度计校准其密度达到所需浓度，将重液按照密度顺序排好，桶中液面不低于 350 mm。每次浮沉前，都需校正密度值。依次完成 1.30，1.40，1.50，1.60，1.70，1.80，2.00 g/cm^3 密度的配置^[18]。

(2) 浮沉试验。按照 GB/T 478—2008《煤炭浮沉方法》^[19-21]将原煤破碎至粒度 $< 13 \text{ mm}$ 进行浮沉试验，每次放入的煤样厚度不超过 100 mm，浮沉样品的总质量为 25 kg，每次浮沉样品依次经过缓冲液、1.30 ~ 2.00 g/cm^3 密度的重液进行静置分层，分层后利用捞勺捞取浮物，依次经过各密度级重液。捞取重液上层浮物，滤尽重液，并用水冲洗除去煤粒上黏附的氯化锌，然后将煤样烘干、称量。

2 结果讨论与分析

2.1 单种煤全级浮沉可选性分析

对单种煤进行全级浮沉，分析单种煤的可选性，为下一步配洗提供理论依据。表 4 为 PLW 原煤的浮沉试验综合表，由表 4 可以看出，PLW 原煤高密度级含量高， $> 2.00 \text{ g/cm}^3$ 的密度级产率为 45.25%，表明 PLW 原煤中矸石含有较高。而 1.30 ~ 1.40 g/cm^3 密度级产率为 20.30%，精煤产率相对较低，且灰分为 8.86%。在低密度 1.30，1.40 g/cm^3 分选情况下， $\delta \pm 0.1$ 含量分别高达 21.1%，31.0%，可选性等级分别为较难选、难选，且精煤产率也相对较低。

根据表 4 数据作图得到 PLW 原煤的可选性曲线，如图 1 所示。

由图 1 可得 PLW 原煤理论分选指标（表 5）：当要求精煤灰分为 9.00% 时，精煤理论产率为 24.25%，理论分选密度为 1.42 g/cm^3 ，扣矸后 $\delta \pm 0.1$ 含量 $> 40.0\%$ ，该煤属于极难选煤。

表 4 PLW 煤浮沉试验综合表

Table 4 Comprehensive table of float-and-sink test for PLW coal

%

密度级/(g·cm ⁻³)	产率	灰分	浮物累计		沉物累计		$\delta \pm 0.1$ 含量	
			产率	灰分	产率	灰分	密度/(g·cm ⁻³)	产率
< 1.30	1.68	2.65	1.68	2.65	100.00	49.10	1.30	21.98
1.30 ~ 1.40	20.30	8.86	21.98	8.39	98.32	49.90	1.40	30.99
1.40 ~ 1.50	10.69	18.08	32.67	11.56	78.02	60.58	1.50	17.13
1.50 ~ 1.60	6.44	27.57	39.11	14.19	67.33	67.32	1.60	11.81
1.60 ~ 1.70	5.37	35.40	44.48	16.75	60.89	71.53	1.70	8.99
1.70 ~ 1.80	3.62	43.82	48.10	18.79	55.52	75.02	1.80	6.95
1.80 ~ 2.00	6.65	55.48	54.75	23.24	51.90	77.20	1.90	6.65
> 2.00	45.25	80.39	100.00	49.10	45.25	80.39		
小计	100.00	49.10						

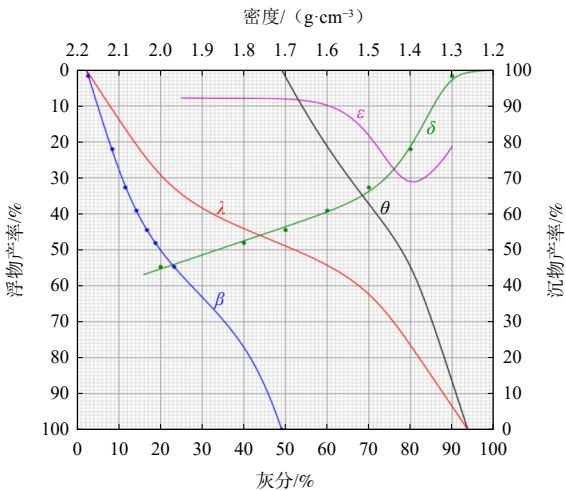


图 1 PLW 原煤可选性曲线

Fig. 1 Washability curve of PLW coal

表 6 为 BJZ 原煤浮沉试验综合表。由表 6 可以看出，BJZ 煤高密度级含量高，> 2.00 g/cm³ 密度级产率为 43.44%，表明 BJZ 原煤中矸石含量也较高。1.30 ~ 1.40 g/cm³ 密度级产率为 25.50%，产率相对较低，且在低密度 1.30，1.40 g/cm³ 分选情况下， $\delta \pm 0.1$ 含量分别高达 26.5%，38.3%，可选性等级分别为较难选、难选，且精煤的产率也相对较低。

根据表 6 数据作图得到 BJZ 原煤的可选性曲线，如图 2 所示。由图 2 可得 BJZ 原煤理论分选指标（表 7）。当要求精煤灰分为 9% 时，理论精煤产率为 24.40%，理论分选密度为 1.42 g/cm³，扣矸后 $\delta \pm 0.1$ 含量 > 40.0%，该原煤可选性等级属于极难选煤。

表 5 PLW 原煤理论分选指标

Table 5 Theoretical separation indices of PLW coal

%

精煤灰分	理论精煤产率	理论分选密度/(g·cm ⁻³)	$\delta \pm 0.1$ 含量	可选性等级
9.00	24.25	1.42	54.90	极难选

表 6 BJZ 煤浮沉试验综合表

Table 6 Comprehensive table of float-and-sink test for BJZ coal

%

密度级/(g·cm ⁻³)	产率	灰分	浮物累计		沉物累计		$\delta \pm 0.1$ 含量	
			产率	灰分	产率	灰分	密度/(g·cm ⁻³)	产率
< 1.30	2.01	3.31	2.01	3.31	100.00	44.72	1.30	27.51
1.30 ~ 1.40	25.50	8.41	27.51	8.04	97.99	45.57	1.40	38.29
1.40 ~ 1.50	12.79	16.72	40.30	10.79	72.49	58.63	1.50	18.71
1.50 ~ 1.60	5.92	24.06	46.22	12.49	59.70	67.62	1.60	9.66
1.60 ~ 1.70	3.74	30.95	49.96	13.88	53.78	72.41	1.70	6.74
1.70 ~ 1.80	3.00	37.82	52.96	15.23	50.04	75.51	1.80	4.80
1.80 ~ 2.00	3.60	47.79	56.56	17.30	47.04	77.92	1.90	3.60
> 2.00	43.44	80.41	100.00	44.72	43.44	80.41		
小计	100.00	44.72						

表 8 为 HJW 原煤浮沉试验综合表。由表 8 可以看出，HJW 原煤低密度级含量较高，其中 1.30 ~ 1.40 g/cm³ 产率高达 33.33%，且灰分较低，为 6.74%。在低密度 1.30，1.40 g/cm³ 分选情况下， $\delta \pm 0.1$ 含量分别高达 36.64%，44.97%，可选性等级分别为难选、极难选，但精煤产率相对较高。

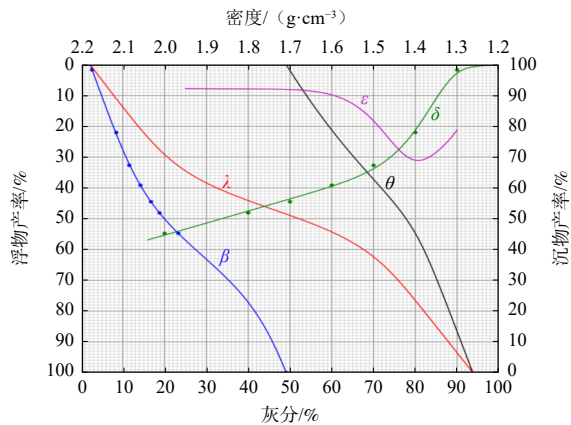


图 2 BJZ 原煤可选性曲线
Fig. 2 Washability curve of BJZ coal

根据表 8 数据作图得到 HJW 原煤的可选性曲线，如图 3 所示。由图 3 可得到 HJW 煤理论分选指标（表 9）。当要求精煤灰分为 9% 时，理论精煤产率为 52.20%，理论分选密度为 1.51 g/cm³，扣矸后 $\delta \pm 0.1$ 含量在 20.1%~30.0% 之间，该煤属于较难选煤。

表 10 为 KQ 原煤浮沉试验综合表。由表 10 可以看出，KQ 原煤主导密度级为 1.30~1.40 g/cm³ 密度级，产率高达 39.45%，且灰分较低，为 7.43%。在低密度 1.30, 1.40 g/cm³ 分选情况下， $\delta \pm 0.1$ 含量分别高达 41.97%，52.81%，可选性等级均为极难选，但精煤产率相对较高。

表 7 BJZ 原煤理论分选指标

Table 7 Theoretical separation indices of BJZ coal					%	
精煤灰分	理论精煤产率	理论分选密度/(g·cm ⁻³)	$\delta \pm 0.1$ 含量	可选性等级		
9.00	24.40	1.42	54.30	极难选		

表 8 HJW 原煤浮沉试验综合表

Table 8 Comprehensive table of float-and-sink test for HJW coal									%
密度级/(g · cm ⁻³)	产率	灰分	浮物累计		沉物累计		δ±0.1含量		
			产率	灰分	产率	灰分	密度/(g · cm ⁻³)	产率	
< 1.30	6.31	5.47	6.31	5.47	100.00	34.90	1.30	36.64	
1.30 ~ 1.40	33.33	6.74	39.64	6.54	93.69	36.89	1.40	44.97	
1.40 ~ 1.50	11.64	16.56	51.28	8.81	60.36	53.54	1.50	17.79	
1.50 ~ 1.60	6.15	25.90	57.43	10.64	48.72	62.37	1.60	10.75	
1.60 ~ 1.70	4.60	33.69	62.03	12.35	42.57	67.64	1.70	8.27	
1.70 ~ 1.80	3.67	42.80	65.70	14.05	37.97	71.75	1.80	6.37	
1.80 ~ 2.00	5.40	52.49	71.10	16.97	34.30	74.85	1.90	5.40	
> 2.00	28.90	79.02	100.00	34.90	28.90	79.02			
小计	100.00	34.90							

表 9 HJW 原煤理论分选指标

Table 9 Theoretical separation indices of HJW coal					%	
精煤灰分	理论精煤产率	理论分选密度/(g·cm ⁻³)	$\delta \pm 0.1$ 含量	可选性等级		
9.00	52.20	1.51	23.90	较难选		

表 10 KQ 原煤浮沉试验综合表

Table 10 Comprehensive table of float-and-sink test for KQ coal									%
密度级/ (g · cm ⁻³)	产率	灰分	浮物累计		沉物累计		δ±0.1含量		
			产率	灰分	产率	灰分	密度/ (g · cm ⁻³)	产率	
< 1.30	2.52	3.00	2.52	3.00	100.00	33.63	1.30	41.97	
1.30 ~ 1.40	39.45	7.43	41.97	7.16	97.48	34.43	1.40	52.81	
1.40 ~ 1.50	13.36	16.85	55.33	9.50	58.03	52.78	1.50	18.59	
1.50 ~ 1.60	5.23	26.15	60.56	10.94	44.67	63.52	1.60	9.16	
1.60 ~ 1.70	3.93	35.23	64.49	12.42	39.44	68.48	1.70	6.92	
1.70 ~ 1.80	2.99	41.86	67.48	13.73	35.51	72.16	1.80	5.15	
1.80 ~ 2.00	4.32	52.42	71.80	16.05	32.52	74.94	1.90	4.32	
> 2.00	28.20	78.39	100.00	33.63	28.20	78.39			
小计	100.00	33.63							

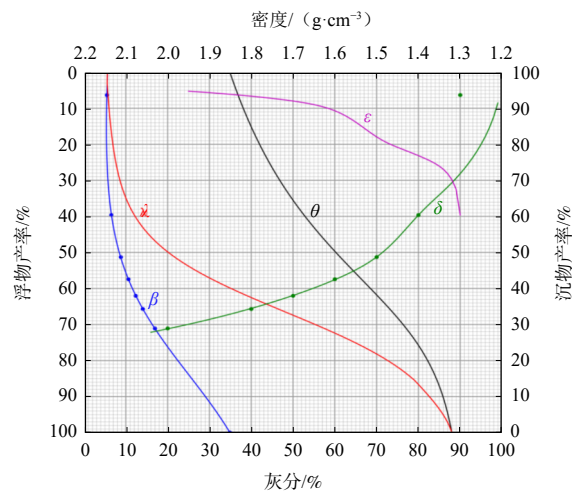


图 3 HJW 原煤可选性曲线
Fig. 3 Washability curve of HJW coal

根据表 10 数据作图得到 KQ 原煤的可选性曲线，如图 4 所示。由图 4 可得出 KQ 煤理论分选指标（表 11）。当要求精煤灰分为 9% 时，可以看出

精煤理论产率为 53.10%；理论分选密度为 1.48 g/cm³；扣矸后 $\delta \pm 0.1$ 含量在 20.1% ~ 30.0% 之间，该煤属于较难选煤。

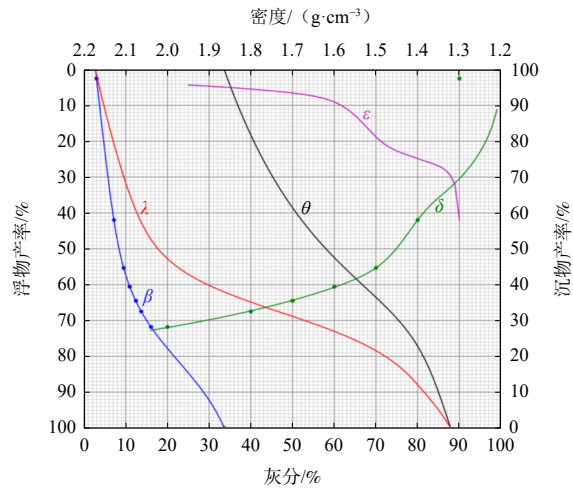


图 4 KQ 原煤可选性曲线
Fig. 4 Washability curve of KQ coal

表 11 KQ 煤理论分选指标

Table 11 Theoretical separation indices of KQ coal					%	
精煤灰分	理论精煤产率	理论分选密度/(g·cm ⁻³)	$\delta \pm 0.1$ 含量	可选性等级		
9.00	53.10	1.48	29.30	较难选		

2.2 二元配洗方案分析

综合上述对单种煤可选性分析，当要求精煤灰分为 9% 时，PLW 原煤和 BJZ 原煤均属于极难选煤，而 KQ 原煤和 HJW 原煤属于较难选煤。根据煤质特性，将产率偏低的 PLW 原煤分别与其他三种原煤进行二元配洗，以获得精煤灰分 < 9%、硫分 < 0.8% 及黏结指数相对较好的煤质特性。

2.2.1 PLW 原煤与 BJZ 原煤配洗

根据 PLW 原煤和 BJZ 原煤的理论分选指标，

将两种原煤分别按照 7 : 3，5 : 5，3 : 7 三个比例混配，其三级浮沉试验结果列于表 12。由表 12 可以得到：在三个配洗方案中，以 5 : 5，3 : 7 配比下的精煤产率较高，分别为 23.76% 和 25.01%；三种配比下的精煤灰分均小于 9%，硫分均小于 0.8%；7 : 3 配比下的精煤 G 值较高，为 82，而在 3 : 7 配比下 G 值为 76。通过综合对比分析，PLW 原煤与 BJZ 原煤配比为 3 : 7 时配洗效果较好，精煤产率最高，黏结性较好，灰分和硫分都比较低。

表 12 PLW 原煤与 BJZ 原煤不同比例混配后的煤样数据

Table 12 Coal sample data after mixing PLW and BJZ raw coals in different proportions							%
配煤比例	三级浮沉密度/(g · cm ⁻³)	产率	M_{ad}	A_d	V_{daf}	$S_{t, d}$	精煤G值
7 : 3	< 1.4	22.52	2.22	6.97	38.24	0.59	82
	1.4 ~ 1.8	38.29	1.30	26.59	38.19	0.41	
	> 1.8	27.90	0.15	73.23	55.93	0.20	
	煤泥	11.29	5.06	24.38	38.19	0.54	
5 : 5	< 1.4	23.76	3.00	7.33	38.77	0.56	83
	1.4 ~ 1.8	31.94	1.18	26.54	38.52	0.41	
	> 1.8	35.76	0.25	75.56	66.69	3.42	
	煤泥	8.54	1.54	36.12	39.24	0.45	
3 : 7	< 1.4	25.01	2.27	6.65	38.79	0.68	76
	1.4 ~ 1.8	34.97	1.41	27.61	38.53	0.62	
	> 1.8	29.30	0.22	70.75	54.57	3.82	
	煤泥	10.72	1.55	29.38	39.23	0.73	

2.2.2 PLW 原煤与 HJW 原煤配洗

根据 PLW 原煤和 HJW 原煤的理论分选指标，将两种原煤分别按照 9：1、8：2、6：4 三个比例混配，其三级浮沉试验结果列于表 13。对三种不同配煤方案，在 9：1 和 8：2 配比下的精煤产率分别为 20.22% 和 18.42%，在 6：4 配比下的精煤产率最高，可达到 22.12%。对于精煤灰分，9：1 配比最

高，为 8.15%，8：2 配比最低，为 6.20%，6：4 配比的灰分为 6.72%。对于精煤硫分，8：2 配比下的最低，为 0.45%，6：4 配比下的最高，为 0.86%，9：1 配比下为 0.58%。8：2 配比下的精煤 *G* 值最大，为 73。通过上述分析，9：1 配比下的精煤产率较高，硫分较低，配洗效果较好。虽然 6：4 配比下的精煤产率最高，但相较于其他配比下硫分偏高。

表 13 PLW 原煤与 HJW 原煤不同比例混配后的煤样数据

Table 13 Coal sample data after mixing PLW and HJW raw coals in different proportions							%
配煤比例	三级浮沉密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	产率	M_{ad}	A_{d}	V_{daf}	$S_{\text{t, d}}$	精煤 <i>G</i> 值
9：1	< 1.4	20.22	2.04	8.15	38.79	0.58	67
	1.4 ~ 1.8	29.59	1.57	26.07	36.46	0.40	
	> 1.8	45.81	0.58	74.52	54.44	0.75	
	煤泥	4.38	1.79	33.09	37.51	0.58	
8：2	< 1.4	18.42	2.49	6.20	38.65	0.45	73
	1.4 ~ 1.8	31.43	1.49	23.35	35.53	0.45	
	> 1.8	39.52	0.60	73.22	57.78	1.19	
	煤泥	10.64	1.89	35.22	37.71	0.46	
6：4	< 1.4	22.12	2.30	6.72	38.54	0.86	65
	1.4 ~ 1.8	26.27	1.79	26.16	36.22	0.55	
	> 1.8	44.72	0.23	75.72	57.51	2.78	
	煤泥	6.90	2.11	30.63	37.51	0.89	

2.2.3 PLW 原煤与 KQ 原煤配洗

根据 PLW 原煤和 KQ 原煤的理论分选指标，分别按照 9：1、7：3、6：4、4：6 四种比例混配，其三级浮沉试验结果列于表 14。在四种配煤方案中，4：6 配比下的精煤产率最高，为 35.12%。对于精煤灰分，四种配比下的精煤灰分均低于 9%，

其中 9：1 配比最高，为 7.31%，其他三种比较接近。而对于精煤硫分，4：6 配比最高，为 0.75%。四种比例下的精煤 *G* 值都比较接近，以 4：6 的精煤 *G* 值最高，为 70。通过上述分析，4：6 配比下的配洗效果相对较好，其精煤产率最高，精煤硫分、灰分分别满足 <0.8% 和 <9% 目标要求，精煤 *G* 值最大。

表 14 PLW 原煤与 KQ 原煤不同比例混配后的煤样数据

Table 14 Coal sample data after mixing PLW and KQ raw coals in different proportions							%
配煤比例	三级浮沉密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	产率	M_{ad}	A_{d}	V_{daf}	$S_{\text{t, d}}$	精煤 <i>G</i> 值
9：1	< 1.4	19.50	2.37	7.31	38.28	0.58	66
	1.4 ~ 1.8	26.67	1.35	25.94	36.89	0.45	
	> 1.8	50.56	0.23	74.60	58.21	0.44	
	煤泥	3.26	1.92	38.08	39.07	0.45	
7：3	< 1.4	25.93	2.56	6.37	37.76	0.63	69
	1.4 ~ 1.8	28.30	1.53	24.44	36.26	0.46	
	> 1.8	39.79	0.28	71.44	53.09	1.05	
	煤泥	5.98	2.11	33.03	38.15	0.53	
6：4	< 1.4	29.89	3.20	6.59	38.39	0.66	65
	1.4 ~ 1.8	28.30	1.92	23.79	34.84	0.67	
	> 1.8	39.79	0.24	74.12	57.01	0.38	
	煤泥	7.74	1.68	31.22	38.02	0.61	
4：6	< 1.4	35.12	3.37	6.21	38.04	0.75	70
	1.4 ~ 1.8	24.14	1.64	25.76	35.77	0.77	
	> 1.8	32.64	0.16	76.72	61.92	0.92	
	煤泥	8.10	1.84	27.89	38.60	0.94	

2.3 三元配洗方案分析

为充分利用煤炭资源，根据不同原煤的煤质

特性，将产率偏低的 PLW 原煤分别与其他三种原煤进行三元混配，通过优选配洗方案，获得精煤灰

分 < 9%、硫分 < 0.8% 及黏结指数相对较好且产率较高的精煤产品。

2.3.1 PLW, HJW, BJZ 原煤配洗

根据 PLW, HJW, BJZ 原煤的理论分选指标, 设计了 5 : 1 : 4、4 : 2 : 4、4 : 3 : 3 三种配煤比例, 其三级浮沉试验结果列于表 15。在三种不同配比的精煤产率中, 以 4 : 3 : 3 的精煤产率最高, 为

32.00%; 以 5 : 1 : 4 的精煤产率最低, 为 27.46%。对于精煤灰分, 三种配洗方案的精煤灰分均低于 9%, 且灰分相差较小。对于精煤硫分, 三种配比的精煤硫分均低于 0.8%, 符合预期要求, 配比为 4 : 2 : 4 的硫分最低, 为 0.45%。从不同配比下的黏结指数来看, 三种配比的精煤黏结指数均达到 60 以上, 黏结性较好。

表 15 PLW, HJW, BJZ 原煤不同比例混配后的煤样数据

Table 15 Coal sample data after mixing PLW and HJW、BJZ raw coals in different proportions							%
配煤比例	三级浮沉密度/(g · cm ⁻³)	产率	M _{ad}	A _d	V _{daf}	S _{t, d}	精煤G值
5 : 1 : 4	< 1.4	27.46	2.61	8.35	38.54	0.59	71
	1.4 ~ 1.8	26.67	1.75	30.06	41.21	0.65	
	> 1.8	37.00	0.43	74.16	63.78	3.68	
	煤泥	8.87	1.00	31.48	39.63	0.25	
4 : 2 : 4	< 1.4	30.84	3.35	7.92	38.72	0.45	63
	1.4 ~ 1.8	25.52	1.66	28.82	37.07	0.44	
	> 1.8	29.84	0.44	75.54	64.31	0.44	
	煤泥	13.80	0.83	25.34	37.71	0.56	
4 : 3 : 3	< 1.4	32.00	2.87	8.10	39.12	0.73	66
	1.4 ~ 1.8	27.16	1.73	27.78	36.99	0.43	
	> 1.8	30.00	0.35	74.56	61.78	0.54	
	煤泥	10.84	1.04	27.62	38.77	0.75	

2.3.2 PLW, HJW, KQ 原煤配洗

根据 PLW, HJW, KQ 原煤的理论分选指标, 设计了 7 : 2 : 1、7 : 1 : 2、6 : 1 : 3 三种比例进行混配, 其三级浮沉试验结果列于表 16。

由表 16 可知: 在三种配洗方案中, 7 : 1 : 2 时

产率为 26.84%, 略高于其他两种配比, 其硫分在三种配比中最低, 为 0.68%。三种配比的灰分和挥发分相差甚小; 从黏结指数来看, 7 : 2 : 1 时黏结指数最大 (69), 7 : 1 : 2 的黏结指数次之 (64)。

表 16 PLW, HJW, KQ 原煤不同比例混配后的煤样数据

Table 16 Coal sample data after mixing PLW and HJW、KQ raw coals in different proportions							%
配煤比例	三级浮沉密度/(g · cm ⁻³)	产率	M _{ad}	A _d	V _{daf}	S _{t, d}	精煤G值
7 : 2 : 1	< 1.4	25.47	1.90	6.61	38.50	0.74	69
	1.4 ~ 1.8	29.27	1.21	25.64	37.19	0.46	
	> 1.8	41.23	0.18	77.74	61.79	0.87	
	煤泥	4.03	1.59	35.99	39.75	0.86	
7 : 1 : 2	< 1.4	26.84	1.62	6.57	37.89	0.68	64
	1.4 ~ 1.8	26.88	2.61	23.85	38.52	0.54	
	> 1.8	42.83	0.13	75.51	61.32	1.01	
	煤泥	3.45	1.10	29.92	37.48	0.69	
6 : 1 : 3	< 1.4	26.27	2.46	6.18	38.98	0.78	59
	1.4 ~ 1.8	30.10	2.62	22.26	36.68	0.77	
	> 1.8	39.14	0.08	78.08	64.43	0.66	
	煤泥	4.49	1.91	28.58	37.14	0.85	

2.4 总结

综上所述: 在二元配洗方案中, PLW, KQ 原煤配煤比例在 4 : 6 时精煤产率最高, 为 35.12%, 且煤质指标相对较好。在三元配洗方案中, PLW, HJW, BJZ 原煤配煤比例在 4 : 3 : 3 时精煤产率最高, 为 32.00%, 且煤质指标相对较好。

3 结论

通过对 PLW, HJW, BJZ, KQ 四种原煤进行浮沉试验分析, 基于各单种煤煤质特性及其分选特性, 设计了二元和三元配洗方案, 并通过三级浮沉试验对得到的配煤产物进行了煤质分析。

(1) 四种原煤中 PLW, BJZ 原煤高密度级含量高, 原煤中含有较多矸石, 理论精煤产率相对较低, 属于极难选煤, 而 KQ, HJW 原煤低密度级含量较高, 理论精煤产率相对较高, 属于较难选煤。

(2) 将精煤产率偏低的 PLW 原煤分别与其他三种原煤进行二元配洗, 以获得精煤灰分 < 9%、硫分 < 0.8% 及黏结指数相对较好的煤质特性。在综合考量下, PLW, KQ 原煤配煤比例为 4:6 时精煤产率最高, 为 35.12%, 该配比下精煤灰分为 6.21%, 低于 9%; 硫分为 0.75%, 低于 0.8%, 均满足精煤指标要求, 在二元混配方案中的配洗效果较好, 并且该比例下的黏结指数值为 70, 黏结特性较好。

(3) 在三元配洗方案中, 经过综合考量, 以 PLW, HJW, BJZ 原煤配煤比例为 4:3:3 时的精煤产率最高, 为 32.00%, 该配比下精煤灰分为 8.10%, 硫分为 0.73%, 均满足精煤指标要求, 配洗效果好。

参考文献:

- [1] 程子墨. 新形势下我国煤炭洗选加工现状及展望 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2022(1): 20-26.
CHENG Zizhao. Present situation and prospect of coal washing and processing in China under the new situation [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2022(1): 20-26.
- [2] 陈强. 论我国选煤技术发展现状及对煤炭清洁利用的影响 [J]. 工程建设, 2022(8): 191-193.
CHEN Qiang. Discussion on the current state of development of coal selection technology and its impact on clean utilization of coal in China [J]. Engineering Construction, 2022(8): 191-193.
- [3] 张振红. 我国煤炭洗选加工现状与发展思考 [J]. 选煤技术, 2023, 51(6): 48-53.
ZHANG Zhenhong. Current state of China's coal preparation and processing undertakings and motions for boosting future development [J]. Coal Preparation Technology, 2023, 51(6): 48-53.
- [4] 李红名, 邓小伟, 赵泽亚, 等. 煤炭深度脱灰技术研究进展 [J]. 选煤技术, 2022, 50(4): 6-10.
LI Hongming, DENG Xiaowei, ZHAO Zeya, et al. Research progress of in-depth coal deashing technologies [J]. Coal Preparation Technology, 2022, 50(4): 6-10.
- [5] 吴迪, 姚雷, 陈新波, 等. 我国煤炭脱硫技术研究进展 [J]. 选煤技术, 2023, 51(3): 9-15.
WU Di, YAO Lei, CHEN Xinbo, et al. Progress of the research work on coal desulfurization technology in China [J]. Coal Preparation Technology, 2023, 51(3): 9-15.
- [6] 庞克亮, 郑有志. 智慧配煤炼焦在焦化行业的应用及展望 [J]. 鞍钢技术, 2022(6): 101-106.
PANG Keliang, ZHENG Youzhi. Application of intelligent coal blending for coking in coking industry and its prospect [J]. Angang technology, 2022(6): 101-106.
- [7] 丛鑫, 王宇. 配煤煤质与焦炭强度相关性预测模型的建立 [J]. 选煤技术, 2021(5): 28-33.
CONG Xin, WANG Yu. Construction of the blending coal quality-coke strength correlation prediction model [J]. Coal Preparation Technology, 2021(5): 28-33.
- [8] 黄国虎. 不同因素对焦炭质量的影响研究 [J]. 燃料与化工, 2024, 55(1): 19-22.
HUANG Guohu. Study on the influence of different factors on coke quality [J]. Fuel & Chemical Processes, 2024, 55(1): 19-22.
- [9] 张恒. 煤炭企业成本管控存在的问题及对策研究 [J]. 今日财富, 2024(25): 62-64.
ZHANG Heng. Research on the existing problems and countermeasures of cost control of coal enterprises [J]. Fortune Today, 2024(25): 62-64.
- [10] 王国法, 张良, 李首滨, 等. 煤矿无人化智能开采系统理论与技术研发进展 [J]. 煤炭学报, 2023, 48(1): 34-53.
WANG Guofa, ZHANG Liang, LI Shoubin, et al. Progresses in theory and technological development of unmanned smart mining system [J]. Journal of China Coal Society, 2023, 48(1): 34-53.
- [11] 申斌学, 朱磊, 古文哲, 等. 煤矿智能干选系统设计方法研究 [J]. 煤炭工程, 2021, 53(5): 17-22.
SHEN Binxue, ZHU Lei, GU Wenzhe, et al. Design method of intelligent dry separation system in coal mine [J]. Coal Engineering, 2021, 53, (5): 17-22.
- [12] 郝海波, 卢永利, 宋小磊, 等. 精细化智能配煤技术的研究与应用 [J]. 节能, 2015, 34(7): 43-46.
HAO Haibo, LU Yongli, SONG Xiaolei, et al. Study and application of precise and intelligent coal blending technology [J]. Energy Conservation, 2015, 34(7): 43-46.
- [13] 郭荣. 屯兰矿 8[#]、9[#]原煤配煤洗选方案分析 [J]. 选煤技术, 2020(2): 52-56.
GUO Rong. Analysis of the schemes for washing blended 8[#] and 9[#] raw coal at Tunlan Coal Preparation Plant [J]. Coal Preparation Technology, 2020(2): 52-56.
- [14] 董洁, 赵贺. 褐煤洗选加工降灰提质研究现状 [J]. 选煤技术, 2021(1): 39-43.
DONG Jie, ZHAO He. Current status of the research work on cleaning, ash reduction and upgrading of lignite [J]. Coal Preparation Technology, 2021(1): 39-43.

- [15] 徐露. 孙庄洗煤厂高硫煤配洗研究与应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(15): 172-174.
XU Lu. Study and practical application of blending and washing processes for high-sulfur coal in Sunzhuang coal preparation plant [J]. Inner mongolia coal economy, 2022(15): 172-174.
- [16] 孙宗成, 常苗苗, 张鑫. 潘一选煤厂浮选工艺改造的研究与探讨. 煤炭加工与综合利用, 2024(6): 5-9.
SUN Zongcheng, CHANG Miaomiao, ZHANG Xin. Research and discussion on the flotation process transformation of Panyi Coal Preparation Plant. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2024(6): 5-9.
- [17] 王志宏, 武晓岗, 李健刚. 沁新选煤厂特色浮选工艺流程的研究与应用. 选煤技术. 2024, 52(4): 83-88.
WANG Zhihong, WU Xiaogang, LI Jiangang. Study and application of the characteristic flotation process at Qinxin Coal Preparation Plant. Coal Preparation Technology, 2024, 52(4): 83-88.
- [18] 罗金洋, 韩正伟, 毕争, 等. 潘集选煤厂脱泥两次浮选工艺的应用研究. 煤炭技术. 2023, 42(4): 253-256.
LUO Jinyang, HAN Zhengwei, BI Zheng, et al. Application of desliming twice flotation process in Panji Coal Preparation Plant. Coal Technology. 2023, 42(4): 253-256.
- [19] 宋双龙. 灵新选煤厂增加振动筛的改造应用 [J]. 选煤技术, 2019(4): 67-70.
SONG Shuanglong. Application of vibrating screens in renovation of Lingxin Coal Preparation Plant [J]. Coal Preparation Technology, 2019(4): 67-70.
- [20] 安泉, 孔令超, 车立润, 等. 唐口选煤厂中煤破碎再选工艺优化改造 [J]. 选煤技术, 2023, 51(4): 44-49.
AN Quan, KONG Lingchao, CHE Lirun, et al. Optimization of the crushed middlings rewashing process of Tangkou Coal Preparation Plant [J]. Coal Preparation Technology, 2023, 51(4): 44-49.
- [21] 欧战备, 黄海峰, 陶有俊. 涡北选煤厂浮选尾煤深度浮选工艺研究 [J]. 选煤技术, 2021(3): 10-15.
OU Zhanbei, HUANG Haifeng, TAO Youjun. Study on Guobei Coal Preparation Plant's flotation tailings in-depth reconcentration process [J]. Coal Preparation Technology, 2021(3): 10-15.